

1. はじめに コンクリート中に埋め込まれた短いアンカーボルトの水平抵抗計算式に関し、お33回年度学術講演会V-99に発表した。短いアンカーボルトとは桁の耐震落下防護装置として用いられるストッパーを含めたもので、これは橋脚、橋台の頂部縁端付近、コンクリート橋桁腹部などコンクリートの支圧抵抗力が比較的小さい箇所に設置されることが多い。またストッパーの終極耐力を考える場合は、埋込上部付近のコンクリートの支圧力は塑性領域に入るであろうし、或は端部のコンクリートはひびわれ剝離して其の抵抗力は内部の鉄筋に肩代りされる傾向があるので、埋込部コンクリートの上部付近の反力は線形と見なしと仮定する方がより合理的と考えられる。コンクリート埋込鋼殻ストッパーは剛体に近い挙動を示し、或は曲げ変形が身振することお考えられ、また水平抵抗の安全度を高くとする場合は設計荷重作用時の反力は線形と仮定することもできるので、以下に剛体ボルトが線形または非線形反力を受ける場合および非線形反力を受ける曲げ変形を考慮したボルトの水平抵抗計算式について述べる。

2. 剛体アンカーボルトの水平抵抗

2.1 線形反力を仮定する場合

ボルト頭部に図-1(a)のように水平力 H_0 、曲げモーメント M_0 が作用するとき、側面のコンクリートの水平ばね係数は深さ方向に一定、水平反力を p 、底面の面積を A 、底面にコンクリートのせん断係数 S による抵抗力 F が作用するものとする。従って、

$$p = (R - y) \cdot \theta \cdot R$$

$$\sum H = 0 \text{ より, } -\int_0^l p b dy + A S (l - R) \theta + H_0 = 0 \quad \dots\dots\dots (1)$$

$$\sum M = 0 \text{ より, } -\int_0^l p b (l - y) dy + M_0 + H_0 l = 0 \quad \dots\dots\dots (2)$$

$$(1) \text{ より } \theta = H_0 / (b R l + A S) \quad R - (b R l^2 / 2 + A S l) \quad \dots\dots\dots (3)$$

$$(2) \text{ より, } \theta = 6 (M_0 + H_0 l) / b R l^2 (3 R - l) \quad \dots\dots\dots (4)$$

$$(3), (4) \text{ より, } R = 6 (M_0 + H_0 l) l (b R l / 2 + A S) - b R l^3 H_0 / 6 (M_0 + H_0 l) (b R l + A S) - 3 b R l^2 H_0 \quad \dots\dots\dots (5)$$

$$(4), (5) \text{ より } \theta = 6 \{ 2 (M_0 + H_0 l) (\frac{1}{2} + \frac{A S}{b R l}) - H_0 \} / b R l^2 + 4 l A S \quad \dots\dots\dots (6)$$

$$\therefore p_0 = R \theta = 2 R \{ 6 (M_0 + H_0 l) (\frac{1}{2} + \frac{A S}{b R l}) - l H_0 \} / b R l^2 + 4 l A S \quad \dots\dots\dots (7)$$

$$P_u = R (l - R) \theta = 2 R \{ 3 (M_0 + H_0 l) - 2 l H_0 \} / b R l^2 + 4 l A S \quad \dots\dots\dots (8)$$

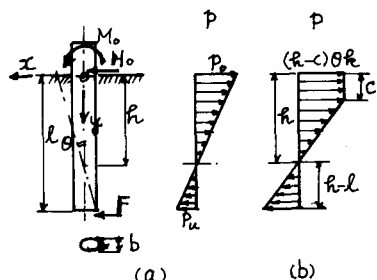


図-1. 剛体ボルトの荷重と反力

2.2 埋込上部コンクリートが塑性化(抵抗力一定の場合)(図-1(b))

$$\sum H = 0, \therefore b c R (R - c) \theta + \int_0^l p b dy - H_0 - A S (l - R) \theta = 0 \quad \therefore \theta = H_0 / b c R (R - c) + b R (l - c) (R - \frac{l^2}{2}) - A S (l - R) \quad (9)$$

$$\sum M = 0, \therefore b c R (R - c) \theta (l - \frac{c}{2}) + \int_0^l p b (l - y) dy - (M_0 + H_0 l) = 0 \quad \therefore \theta = M_0 + H_0 l / b c R (R - c) (l - \frac{c}{2}) + \frac{b R}{6} (l - c)^2 (3 R - 2 c - l) \quad (10)$$

$$(9), (10) \text{ より, } R = \{ 3 (c^2 + l^2) + \frac{6 A S l}{b R} \} (M_0 + H_0 l) - (3 c^2 l - c^3 + l^3) H_0 / 6 (M_0 + H_0 l) (l + \frac{A S}{b R}) - 3 R^2 H_0 \quad \dots\dots\dots (11)$$

以下は2.1と同様である。

3. コンクリート上部の降伏反力、下部線形反力と曲げ変形を考慮したアンカーボルトの水平抵抗

ボルト頭部に図-2の H_0 、 M_0 が作用するとき、埋込部コンクリートの表面から深さ c の部分は降伏して一定の

水平反力0を生じ、それ以下のコンクリートの水平ばね定数を k 、底面のせん断ばね定数を S 、ボルトは一定の曲げ剛性 EI をもつものと仮定する。

$0 \leq x \leq c$ の範囲で次式が成立つ。

$$\frac{d^4 y}{dx^4} + \frac{bP_0}{EI} y = 0, \quad \beta = \sqrt[4]{\frac{bP_0}{EI}} \quad \dots \dots \dots (12)$$

(12) 式の解は $y = e^{i\beta x} (C_1 \cos \beta x + C_2 \sin \beta x) + e^{-i\beta x} (C_3 \cos \beta x + C_4 \sin \beta x)$

$$\frac{d^2 y}{dx^2} = 2\beta^2 e^{i\beta x} (C_2 \cos \beta x - C_1 \sin \beta x) + 2\beta^2 e^{-i\beta x} (-C_4 \cos \beta x + C_3 \sin \beta x)$$

$$\frac{d^2 y}{dx^2} = 2\beta^2 e^{i\beta x} \{(-C_1 + C_2) \cos \beta x - (C_1 + C_2) \sin \beta x\} + 2\beta^2 e^{-i\beta x} \{(C_3 + C_4) \cos \beta x + (-C_3 + C_4) \sin \beta x\}$$

また $M = -EI \frac{d^2 y}{dx^2}$, $S = -EI \frac{d^3 y}{dx^3}$ の関係からつぎの境界条件式が得られる。

$$x = c \text{ で, } M = -M_0 - H_0 c + \frac{bc^2 \sigma}{2}, \quad S = -H_0 + bc \sigma \quad \dots \dots \dots (13)$$

$$x = l \text{ で, } M = 0, \quad S = -(\gamma)_{x=l} \cdot A \cdot S \quad \dots \dots \dots (14)$$

(13), (14) 式に y , $\frac{d^2 y}{dx^2}$, $\frac{d^3 y}{dx^3}$ を代入すると次の未定係数方程式 (15) を得、 C_1, C_2, C_3, C_4 を求めることによって変位、曲げモーメント、せん断力などを計算することができる。

$$\left. \begin{aligned} -e^{i\beta c} \sin \beta c \cdot C_1 + e^{i\beta c} \cos \beta c \cdot C_2 + e^{-i\beta c} \sin \beta c \cdot C_3 - e^{-i\beta c} \cos \beta c \cdot C_4 &= \frac{M_0 + H_0 c - \frac{bc^2 \sigma}{2}}{2\beta^2 EI} \\ -e^{i\beta c} (\cos \beta c + \sin \beta c) C_1 + e^{i\beta c} (\cos \beta c - \sin \beta c) C_2 + e^{-i\beta c} (\cos \beta c - \sin \beta c) C_3 + e^{-i\beta c} (\cos \beta c + \sin \beta c) C_4 &= \frac{H_0 - bc \sigma}{2\beta^3 EI} \\ -e^{i\beta l} \sin \beta l \cdot C_1 + e^{i\beta l} \cos \beta l \cdot C_2 + e^{-i\beta l} \sin \beta l \cdot C_3 - e^{-i\beta l} \cos \beta l \cdot C_4 &= 0 \\ -e^{i\beta l} \left\{ \left(1 + \frac{AS}{2EI\beta^3} \right) \cos \beta l + \sin \beta l \right\} C_1 + e^{i\beta l} \left\{ \cos \beta l - \left(1 + \frac{AS}{2EI\beta^3} \right) \sin \beta l \right\} C_2 \\ + e^{-i\beta l} \left\{ \left(1 - \frac{AS}{2EI\beta^3} \right) \cos \beta l - \sin \beta l \right\} C_3 + e^{-i\beta l} \left\{ \cos \beta l + \left(1 - \frac{AS}{2EI\beta^3} \right) \sin \beta l \right\} C_4 &= 0 \end{aligned} \right\} \quad \dots \dots \dots (15)$$

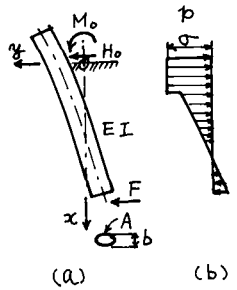


図-2 弾性体ボルトの荷重と反力

4. 数値計算例

図-3 の鋼鉄ストッパーが $R_L = 240 \text{ kg/cm}^2$ のコンクリートに埋込まれ、 $E_c = 2.7 \times 10^5 \text{ kg/cm}^2$, $\rho_c = 6.1 \times 10^{-6} \text{ kg/m}^3$, $S = 8.9 \times 10^{-6} \text{ kg/m}^3$, $C = 0.2 \text{ m}$ とすると、剛体計算では $l_c = 0.715 \text{ m}$, $\theta = 952.3 \times 10^{-6} \text{ rad}$, $P_0 = 2993 \text{ kg/m}^2$, $P_u = 1074 \text{ kg/m}^2$, 弾性計算では 更に $EI = 8286 \text{ kg-m}^2$, $\beta = 2.726 \text{ m}^{-1}$, $\sigma = 2993 \text{ kg/m}^2$ として解を求め、それらの主要な結果を表-1 に示した。埋込上部付近のコンクリートの塑性状態支圧応力 299 kg/cm^2 に対しては外力方向に配置した水平鉄筋 (SD35) の降伏強度で抵抗すると考えると、高さ 200 mm の範囲内は D29 を 8 本配筋すればよい。

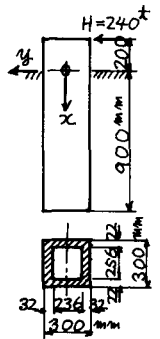


図-3 計算例

5. おわりに

剛性が比較的大きいアンカーボルト、ストッパーなどの水平抵抗試験に関して発表された実験結果は比較的少なく、ボルト側面のコンクリートの支圧応力と変位、ボルト本体の力と変形の関係など詳細に固く不明の点が多く、計算式の妥当性が検討されてない。今後更に研究を進めて行きたい。

実験資料を提示された首都高速道路公団工務部長玉野光氏外の方々に感謝の意を表します。

表-1. 計算変位、曲げモーメント、せん断力

x (m)	剛体ストッパー			弾性体ストッパー		
	y (mm)	M (kg-m)	S (kg)	y (mm)	M (kg-m)	S (kg)
-0.2	0.818	0	-240	2.95	0	-240
0.2	0.491	-78.4	-60.4	0.828	-78.0	-60.4
0.3	0.395	-79.9	20.7	0.486	-77.6	58.3
0.5	0.205	-63.6	130.5	0.069	-54.3	149.8
0.7	0.014	-32.3	170.7	-0.088	-24.3	140.7
0.9	-0.176	0	141.1	-0.125	0	100.1